



IN THE UNITED STATES PATENT AND TRADEMARK OFFICE  
SUBMISSION OF CERTIFIED COPY OF PRIORITY DOCUMENTS

APPLICANT: Oliver HEID et al CONFIRMATION NO.: 6387  
SERIAL NO.: 10/808,959 GROUP ART UNIT: 2862  
FILED: March 25, 2004  
TITLE: "TIME-VARIABLE MAGNETIC FIELDS GENERATOR FOR A MAGNETIC RESONANCE"

Commissioner for Patents  
P. O. Box 1450  
Alexandria, Virginia 22313-1450

SIR:

Applicants herewith submit a certified copy of German Application 10 2004 012 058.7, filed in the German Patent and Trademark Office on March 11, 2004, and a certified copy of German Application 103 13 229.5, filed in the German Patent and Trademark Office on March 25, 2003, on which Applicants base their claim for convention priority under 35 U.S.C. §119.

Submitted by,

*Stuart H. Noll*

(Reg. 28,982)

---

SCHIFF, HARDIN LLP  
**CUSTOMER NO. 26574**  
Patent Department  
6600 Sears Tower  
233 South Wacker Drive  
Chicago, Illinois 60606  
Telephone: 312/258-5790  
Attorneys for Applicant.

# BUNDESREPUBLIK DEUTSCHLAND



## Prioritätsbescheinigung über die Einreichung einer Patentanmeldung

**Aktenzeichen:** 10 2004 012 058.7

**Anmeldetag:** 11. März 2004

**Anmelder/Inhaber:** Siemens Aktiengesellschaft, 80333 München/DE

**Bezeichnung:** Erzeuger zeitvariabler Magnetfelder eines Magnetresonanzgeräts und Magnetresonanzgerät mit dem Erzeuger

**Priorität:** 25. März 2003 DE 103 13 229.5

**IPC:** G 01 R 33/422

**Die angehefteten Stücke sind eine richtige und genaue Wiedergabe der ursprünglichen Unterlagen dieser Patentanmeldung.**

München, den 27. April 2004  
Deutsches Patent- und Markenamt

Der Präsident  
Im Auftrag

A handwritten signature in black ink, appearing to read "Agurks".

Agurks

Beschreibung

Erzeuger zeitvariabler Magnetfelder eines Magnetresonanzgeräts und Magnetresonanzgerät mit dem Erzeuger

- 5 Die Erfindung betrifft einen Erzeuger zeitvariabler Magnetfelder eines Magnetresonanzgeräts mit wenigstens einer Gradientenspule, wobei Leiter der Gradientenspule sich im We-  
sentlichen im Bereich eines Hohlzylinders erstrecken und  
10 10 wobei die Gradientenspule hinsichtlich einer axialen Ausdeh-  
nung des Hohlzylinders in einem Mittenbereich frei von Lei-  
tern ausgebildet ist, und ein Magnetresonanzgerät mit einem  
derartigen Erzeuger.
- 15 15 Die Magnetresonanztechnik ist eine bekannte Technik unter  
anderem zum Gewinnen von Bildern eines Körperinneren eines  
Untersuchungsobjekts. Dabei werden in einem Magnetresonanzge-  
rät einem statischen Grundmagnetfeld, das von einem Grund-  
feldmagneten erzeugt wird, schnell geschaltete Gradientenfel-  
20 20 der überlagert, die von einem Gradientenspulensystem erzeugt  
werden. Ferner umfasst das Magnetresonanzgerät ein Hochfre-  
quenzsystem, das zum Auslösen von Magnetresonanzsignalen  
Hochfrequenzsignale in das Untersuchungsobjekt einstrahlt und  
die ausgelösten Magnetresonanzsignale aufnimmt, auf deren  
25 Basis Magnetresonanzbilder erstellt werden.

Zum Erzeugen von Gradientenfeldern sind in Gradientenspulen  
des Gradientenspulensystems entsprechende Ströme einzustel-  
len. Dabei betragen die Amplituden der erforderlichen Ströme  
30 bis zu mehreren 100 A. Die Stromanstiegs- und -abfallraten  
betragen bis zu mehreren 100 kA/s. Da das Gradientenspulen-  
system ist in der Regel von elektrisch leitfähigen Strukturen  
umgeben ist, werden in diesen durch die geschalteten Gradi-  
tenfelder Wirbelströme induziert. Beispiele für derartige  
35 leitfähige Strukturen sind der Vakuumbehälter und/oder die  
Kälteschilde eines supraleitenden Grundfeldmagneten. Die mit  
den Wirbelströmen einhergehenden Felder sind unerwünscht,

weil sie die Gradientenfelder ohne gegensteuernde Maßnahmen schwächen und in ihrem zeitlichen Verlauf verzerrten, was zur Beeinträchtigung der Qualität von Magnetresonanzbildern führt.

5

Das Verzerren eines Gradientenfeldes infolge der Wirbelstromfelder kann bis zu einem gewissen Grad durch ein entsprechendes Vorverzerren einer das Gradientenfeld steuernden Größe kompensiert werden. Durch einen Einsatz eines aktiv geschirmten Gradientenspulensystems sind ferner die auf einer vorgebbaren Hüllefläche, die beispielsweise durch einen inneren Zylindermantel eines 80-K-Kälteschildes des supraleitenden Grundfeldmagneten verläuft, durch die bestromten Gradientenspulen induzierten Wirbelströme reduzierbar. Eine zur Gradientenspule zugehörige Gradientenschirmspule weist dabei in der Regel eine geringere Windungsanzahl als die Gradientenspule auf und ist mit der Gradientenspule derart verschaltet, dass die Gradientenschirmspule vom gleichen Strom wie die Gradientenspule, allerdings in entgegengesetzter Richtung durchflossen wird. Die Gradientenschirmspule wirkt dabei auf das Gradientenfeld im Abbildungsvolumen schwächend.

Aus DE 3445724 A1 ist des Weiteren bekannt, zur Beseitigung einer magnetischen Kopplung zwischen einer HF-Spule und einer Gradientenfeldspule z.B. Abschirmungsschichten auf beiden Seiten der Gradientenfeldspule anzurufen.

Aus der DE 44 14 371 A1 ist ein Magnetresonanzgerät bekannt, bei dem zwischen einer Hochfrequenzantenne und einem Gradientenspulensystem des Magnetresonanzgeräts ein Hochfrequenzschirm angeordnet ist, der so ausgebildet ist, dass er für die vom Gradientenspulensystem erzeugten elektromagnetischen Felder im Niederfrequenzbereich durchlässig und für die von der Hochfrequenzantenne erzeugten Felder im Hochfrequenzbereich undurchlässig ist. Dabei umfasst der Hochfrequenzschirm eine erste und dazu eine gegenüberliegend angeordnete zweite elektrisch leitfähige Schichtanordnung, die durch ein Die-

lektrikum voneinander getrennt sind, wobei die Schichtanordnungen nebeneinander angeordnete Leiterbahnen umfassen, die voneinander durch elektrisch isolierende Schlitze getrennt sind, die Schlitze in der ersten Schichtanordnung gegenüber 5 deren in der zweiten versetzt angeordnet sind und in mindestens einer Schichtanordnung benachbarte Leiterbahnen über hochfrequente Ströme leitende, speziell angeordnete Brücken, umfassend beispielsweise Kondensatoren, miteinander verbunden sind.

10

Die Hochfrequenzantenne des Magnetresonanzgeräts ist beispielsweise als eine sogenannte Birdcageantenne ausgebildet.

Dabei ist eine Birdcageantenne zum Erzeugen eines homogenen Hochfrequenzfeldes innerhalb eines von ihr umschlossenen

15

Volumens in der Regel derart gestaltet, dass auf einem Zylindermantel zueinander parallel und gleich beabstandete Leiter angeordnet sind, die durch Endringe miteinander verbunden sind. Dabei erfolgt eine Abstimmung in Hoch- und Tiefpassfilterbereiche, indem Kapazitäten in jedem der Leiter oder in 20 den Endringen zwischen den Leitern eingebracht sind, so dass bei Resonanz ein homogenes Hochfrequenzfeld resultiert.

Ausführungsformen einer solchen Birdcageantenne finden sich beispielsweise in der US 4,680,548. Die Hochfrequenzantenne kann aber auch als eine sogenannte Arrayantenne ausgebildet 25 sein. Dabei ist die Arrayantenne durch mehrere, im Wesentlichen gleichartige, sich gegenseitig überlappende Leiterschleifen gekennzeichnet. Ausführungsformen einer solchen Arrayantenne finden sich beispielsweise in der US 4,825,162.

30

Aus der DE 101 56 770 A1 ist ein Magnetresonanzgerät mit einem Gradientenspulensystem bekannt, bei dem eine elektrisch leitfähige Struktur derart angeordnet und ausgebildet ist, dass wenigstens innerhalb eines Abbildungsvolumens des Magnetresonanzgeräts ein von einem Gradientenfeld über Induktionseffekte hervorgerufenes Magnetfeld der Struktur dem Gradientenfeld ähnlich ist. Dabei ist in einer Ausführungsform 35 wenigstens ein Teil der Struktur als ein Bestandteil eines

Grundfeldmagneten fassmantelförmig ausgebildet. Dadurch ist unter anderem mit Vorteil das Gradientenspulensystem ohne Gradientenschirmspulen ausbildbar, da die an sich unerwünschten Folgen der geschalteten Gradientenfelder aufgrund der

5 Ähnlichkeit des durch die Struktur hervorgerufenen Magnetfeldes durch eine Vorverzerrung nahezu vollständig beherrschbar sind, so dass keine Schwächung der Gradientenfelder aufgrund von Gradientenschirmspulen stattfindet.

10 Aus der DE 4230145 A1 ist ein MR-Gerät bekannt, dass einen Grundfeldmagneten aufweist, der einen transversalen Zugriff zum Messvolumen erlaubt. Das MR-Gerät weist ein Gradientenspulensystem mit axial beabstandeten Segmenten auf. Zur Erzeugung eines im Messvolumen im Wesentlichen homogenen HF-15 Feldes wird ein axial in eine axiale Bohrung eines Tragekörpers oder transversal in die Lücke des Grundfeldmagneten einführbare HF-Spulensystem verwendet. Das MR-Gerät, bzw. seine Komponenten wie Grundfeldmagnet, Gradientenspulensystem und HF-Spulensystem, sind in Hinblick auf einen möglichst 20 großen Zugang zum Messvolumen zur einfachen Durchführung von Therapiemaßnahmen wie mikrochirurgische Eingriffe etc. ausgebildet.

Aus US 4,864,241 ist ein MR-Gerät bekannt, bei dem Wirbelströme kompensiert werden. Dies erfolgt mithilfe zweiteiliger Gradientenspulen, die üblicherweise eine hohlzylinderförmige Einheit bilden. Zur HF-Felderzeugung wird ein ebenfalls hohlzylinderförmig ausgebildete HF-Antenne mit kleinerem Radius in die Gradientenspuleneinheit eingebracht. Ein derartiger Aufbau hat den Nachteil, dass er viel Platz beansprucht und dass ein Untersuchungsvolumen des MR-Geräts durch den Durchmesser der HF-Antenne bestimmt wird.

35 Eine Aufgabe der Erfindung ist es, einen Erzeuger zeitvariabler Magnetfelder eines Magnetresonanzgeräts und ein Magnetresonanzgerät mit dem Erzeuger zu schaffen, bei dem ein Gerätewolumen, das einen vorgebbaren Raum zum Aufnehmen eines

Untersuchungsobjekts umgibt, möglichst kleindimensioniert gehalten werden kann.

Diese Aufgabe wird hinsichtlich des Erzeugers durch den

5 Gegenstand des Anspruchs 1 und hinsichtlich des Magnetresonanzgeräts durch den Gegenstand des Anspruchs 14 gelöst.  
Vorteilhafte Ausgestaltungen sind in den Unteransprüchen beschrieben.

10 Gemäß Anspruch 1 beinhaltet ein Erzeuger zeitvariabler Magnetfelder eines Magnetresonanzgeräts folgende Merkmale:

- wenigstens eine Gradientenspule,
- deren Leiter sich im Wesentlichen im Bereich eines Hohlzylinders erstrecken und
- die hinsichtlich einer axialen Ausdehnung des Hohlzylin-  
ders in einem Mittenbereich frei von Leitern ausgebildet ist,
- ein erster Hochfrequenzschirm, der die auf der einen Seite bezüglich des Mittenbereichs angeordneten Leiter um-  
schließt,
- ein zweiter Hochfrequenzschirm, der die auf der anderen Seite bezüglich des Mittenbereichs angeordneten Leiter um-  
schließt,
- ein Hochfrequenzantennenelement, das zwischen dem ersten und zweiten Hochfrequenzschirm in dem Mittenbereich ange-  
ordnet ist,
- ein dritter Hochfrequenzschirm, der radial außerhalb um das Antennenelement verlaufend derart angeordnet ist, so dass die Hochfrequenzschirme einen Feldrückflussraum begrenzen,  
der innerhalb des Erzeugers angeordnet ist und der für einen Rückfluss eines mit dem Hochfrequenzantennenelement erzeugbaren Hochfrequenzfeldes ausgebildet ist.

35 Durch den erfindungsgemäßen Aufbau des Erzeugers wird ein bei vergleichbaren konventionellen Lösungen nicht für einen Rückfluss eines - mit einer das Hochfrequenzantennenelement umfassenden Hochfrequenzantenne erzeugbaren - Hochfrequenz-

felds zur Verfügung stehender Bereich innerhalb eines die Gradientenspule umfassenden Gradientenspulensystems als Feldrückflussraum erschlossen. Dadurch ist die bauliche Kombination von Gradientenspulensystem und Hochfrequenzantenne gegenüber den vergleichbaren konventionellen Lösungen in einem ersten Fall bei gleichbleibendem Innendurchmesser mit einem kleineren Außendurchmesser oder im zweiten Fall bei gleich bleibendem Außendurchmesser mit einem größeren Innendurchmesser ausbildbar. Im ersten Fall ist ein Grundfeldmagnet des Magnetresonanzgeräts kleiner dimensionierbar und damit wesentlich kostengünstiger. Im zweiten Fall wird bei unverändertem Grundfeldmagneten ein größerer Untersuchungsobjektaufnahmeraum erzielt, der unter anderem den Patientenkomfort erhöht. Diese Vorteile der Erfindung ergeben sich unter anderem daraus, dass das HF-Antennenelement im Mittenbereich, d.h. zwischen dem ersten und zweiten HF-Schirm, angeordnet ist und somit der von der Gradientenspule eingenommene Platz optimal (doppelt) genutzt wird.

Ein weiterer Vorteil der Verwendung eines in den Erzeuger integrierten (vorzugsweise abgeschlossenen) Feldrückflussraums liegt darin, dass das HF-Feld wenigstens in diesem Bereich unbeeinflusst von äußeren Aktivitäten erfolgt. Durch wird das HF-Feld in seiner Erzeugung kontrollierbarer und reproduzierbarer. Vorzugsweise ist dabei der dritte HF-Schirm nicht nur im Bereich des Antennenelements und damit im Bereich des stärksten HF-Feldes angeordnet, sondern erstreckt sich auch beidseitig in axialer Richtung in Bereiche, die radial außerhalb der von den HF-Schirmen umgebenen Gradientenspulen angeordnet sind.

In einer besonders vorteilhaften Ausführungsform des Erzeugers verbindet das Hochfrequenzantennenelement den ersten und den zweiten Hochfrequenzschirm hochfrequenzmäßig derart, dass der erste und der zweite Hochfrequenzschirme zusammen mit dem Hochfrequenzantennenelement eine Hochfrequenzantenne bilden. Dies hat den Vorteil, dass wesentliche Leiterabschnitte der

HF-Antenne durch schon aufgrund der Gradientenspulenabschirmung vorhandene Leiter (den HF-Schirmen) gebildet werden können. Dies führt zum kompakteren Aufbau des Erzeugers aufgrund des hohen baulichen Integrationsgrades der verwendeten Komponenten, im speziellen der Doppelbenutzung der HF-Schirme. Die hochfrequenzmäßige Verbindung kann dabei galvanisch oder nicht galvanisch sein, da in beiden Fällen die das HF-Feld erzeugenden Ströme im Wesentlichen identisch auf den HF-Schirmen verlaufen. Üblicherweise weist das Antennenelement Mittel zum Einspeisen eines HF-Signals zur HF-Felderzeugung und/oder Mittel zum Auslesen eines empfangenen MR-Signals auf.

In einer weiteren vorteilhaften Ausführungsform sind der erste und der zweite Hochfrequenzschirm jeweils über eine ebenfalls als Hochfrequenzschirm wirkende Verbindung mit dem dritten Hochfrequenzschirm derart verbunden, dass der Feldrückflussraum bis auf den Mittenbereich hochfrequenzmäßig abgeschirmt ist. Dies hat den Vorteil, dass in axialer Richtung seitlich des Feldrückflussraums elektrische Leiter verlegt werden können, die auch ohne weitere das HF-Feld berücksichtigende Maßnahmen nicht mit dem HF-Feld wechselwirken. So können beispielsweise die Gradientenspule und eine ihr zugeordnete Schirmspule in Reihe geschaltet werden, ohne das Drosseln etc. in die elektrisch verschaltenden Leiter aufgenommen werden müssen. In speziellen Ausführungsformen kann die hochfrequenzmäßige Verbindung der HF-Schirme bewirkt werden, indem beispielsweise der erste und/oder zweite HF-Schirm zumindest in einem Bereich nah am dritten HF-Schirm angeordnet ist oder indem der erste und/oder zweite HF-Schirm galvanisch z.B. über einen weiteren HF-Schirm mit dem dritten HF-Schirm verbunden ist.

Weitere vorteilhafte Ausführungsformen der Erfindung sind durch die Merkmale der Unteransprüche gekennzeichnet.

Weitere Vorteile, Merkmale und Einzelheiten der Erfindung ergeben sich aus den nachfolgend beschriebenen Ausführungsbeispielen der Erfindung anhand der Figuren 1 bis 7. Dabei zeigen:

5

Figur 1 einen Längsschnitt durch ein Magnetresonanzgerät mit einem tunnelartigen Patientenaufnahmerraum gemäß dem Stand der Technik,

10 Figur 2 einen Längsschnitt durch ein Magnetresonanzgerät mit einem tunnelartigen Patientenaufnahmerraum und mit einem aktiv geschirmten Gradientenspulensystem mit integrierter Hochfrequenzantenne,

15 Figur 3 ein Magnetresonanzgerät entsprechend Figur 2, mit einem mit Ausnahme des Mittenbereichs allseitig hochfrequenzmäßig abgeschirmten Feldrückflussraum,

20 Figur 4 einen Längsschnitt durch ein Magnetresonanzgerät mit einem tunnelartigen Patientenaufnahmerraum, mit einem Grundfeldmagneten mit fassmantelartig ausgebauchter Höhlung und mit einem zwei Hälften aufweisenden, nicht aktiv geschirmten Gradientenspulensystem, zwischen dessen Hälften eine Hochfrequenzantenne angeordnet ist,

25

Figur 5 ein Magnetresonanzgerät entsprechend Figur 4, wobei HF-Schirme, die die Gradientenspulen umgeben, und ein radial außerhalb der Gradientenspulen liegender HF-Schirm in den in axialer Richtung am Rand liegenden Bereichen räumlich so nah beieinander liegen, dass sich ein mit Ausnahme des Mittenbereichs hochfrequenzmäßig abgeschirmten Feldrückflussraum ergibt,

35 Figur 6 die Hochfrequenzantenne der Figuren 2 bis 5 in der Ausbildung als Birdcageantenne und

Figur 7 die Hochfrequenzantenne der Figuren 2 bis 5 in der Ausbildung als Arrayantenne.

Die Figur 1 zeigt einen prinzipiellen Längsschnitt durch eine obere Hälfte eines Magnetresonanzgeräts mit einem tunnelförmigen Patientenaufnahmeraum gemäß dem Stand der Technik, wobei aus Gründen der Übersichtlichkeit lediglich die Schnittflächen dargestellt sind. Das Magnetresonanzgerät umfasst dabei einen im Wesentlichen hohlzylinderförmigen Grundfeldmagneten 110, der zum Erzeugen eines im Patientenaufnahmeraum möglichst homogenen statischen Grundmagnetfelds supraleitende Primärspulen 114 und den Primärspulen 114 zugeordnete, ebenfalls supraleitende Schirmspulen 115 umfasst.

In der Höhlung des Grundfeldmagneten 110 ist ein ebenfalls im Wesentlichen hohlzylinderförmiges Gradientenspulensystem 120 zum Erzeugen von schnell schaltbaren Gradientenfeldern angeordnet. Dabei umfasst das Gradientenspulensystem 120 von innen nach außen folgende Elemente, die in zueinander konzentrisch angeordneten, im Wesentlichen hohlzylinderförmigen Teilbereichen des Gradientenspulensystems 120 angeordnet sind: Eine erste transversale Gradientenspule 121, umfassend vier sattelförmige Teilspulen zum Erzeugen eines ersten transversalen Gradientenfelds mit einem Gradienten in einer Richtung senkrecht zur Hohlzylinderhauptachse 150. Eine zweite transversale Gradientenspule 122, ebenfalls umfassend vier sattelförmige Teilspulen zum Erzeugen eines zweiten transversalen Gradientenfelds mit einem Gradienten senkrecht zu dem der ersten transversalen Gradientenspule 121 und senkrecht zur Hohlzylinderhauptachse 150. Eine nicht dargestellte Kühleinrichtung zum Kühlen der Gradientenspulen 121, 122 und 123. Eine longitudinale Gradientenspule 123, umfassend zwei Solenoid-Teilspulen zum Erzeugen eines longitudinalen Gradientenfelds mit einem Gradienten in Richtung der Hohlzylinderhauptachse 150. Eine weitere Kühleinrichtung in Verbindung mit einer Shimeinrichtung, die ebenfalls nicht

dargestellt sind. Eine der longitudinalen Gradientenspule 123 zugeordnete longitudinale Gradientenschirmfspule 127. Eine der ersten transversalen Gradientenspule 121 zugeordnete erste transversale Gradientenschirmfspule 125 und eine der zweiten 5 transversalen Gradientenspule 122 zugeordnete zweite transversale Gradientenschirmfspule 126.

Da die Leiterstrukturen des Gradientenspulensystems 120 für viele Wellenlängen der Hochfrequenz vergleichsweise groß und 10 stark verlustbehaftet sind, ist zwischen dem Gradientenspulensystem 120 und einer Hochfrequenzantenne 140 ein im Wesentlichen hohlzylinderförmiger Hochfrequenzschirm 130 angeordnet, der derart ausgebildet ist, dass er die vom Gradientenspulensystem 120 erzeugten Gradientenfelder in einem 15 Niederfrequenzbereich durchlässt, und für die von der Hochfrequenzantenne 140 erzeugten Signale im Hochfrequenzbereich undurchlässig ist.

In der Höhlung des Hochfrequenzschirms 130 ist die Hochfrequenzantenne 140, beispielsweise in der Ausbildung als eine Birdcageantenne angeordnet. Mit der Hochfrequenzantenne 140 ist im Patientenaufnahmeraum ein Hochfrequenzfeld erzeugbar, wobei exemplarische Feldlinien 149 des Hochfrequenzfelds im Bereich des Patientenaufnahmeraums mit dem Symbol ⊕ gekennzeichnet sind. Dabei kennzeichnet das Symbol ⊕ eine an 25 dieser Stelle aus der Zeicheneben austretend gezählte Feldlinie 149. Die eigentliche Hochfrequenzantenne 140 ist zu dem Hochfrequenzschirm 130 beispielsweise um etwa 3 cm beabstandet. Dabei bedingen diese 3 cm bei einer vorgegebenen Größe 30 des Patientenaufnahmeraums, bezogen auf einen die 3 cm nicht berücksichtigenden Grundfeldmagneten einen um etwa 10% größer dimensionierten Grundfeldmagneten 110, was mit erheblichen Kosten verbunden ist. Diese Beabstandung ermöglicht eine Flussrückführung des von der Hochfrequenzantenne 140 erzeugten 35 Hochfrequenzfelds, also ein Schließen der Feldlinien 149, wobei im Bereich zwischen der Hochfrequenzantenne 140 und dem Hochfrequenzschirm 130 die Feldlinien 149 mit dem Symbol ⊖

dargestellt sind. Dabei kennzeichnet das Symbol  $\otimes$  eine an dieser Stelle in die Zeichenebenen eintretend gezählte Feldlinie 149. Die Dicke dieses für die Flussrückführung zur Verfügung stehenden Raums darf nicht zu klein gewählt werden, da ansonsten die gegenläufigen Anteile der Feldlinien 149 sehr nahe beieinander liegen, ein zu großer Anteil der Feldenergie im Rückfluss gespeichert wäre und der Füllfaktor und die Effizienz der Hochfrequenzantenne 140 stark abnehmen würden.

In der Figur 1 ist des Weiteren exemplarisch eine Feldlinie 119 des Grundmagnetfelds dargestellt, die sich im Bereich des Grundfeldmagneten 110 schließt, und es sind exemplarische Feldlinien 129 des zweiten transversalen Gradientenfelds dargestellt, die sich im Bereich des Gradientenspulensystems 120 schließen. Dabei gilt für alle im Patientenaufnahmeraum applizierten Magnetfelder, dass sie sich außerhalb des Patientenaufnahmeraums schließen müssen.

Die Figur 2 zeigt als ein Ausführungsbeispiel der Erfindung einen prinzipiellen Längsschnitt durch eine obere Hälfte eines Magnetresonanzgeräts mit einem im Wesentlichen tunnelartigen Patientenaufnahmeraum, wobei aus Gründen der Übersichtlichkeit wiederum lediglich die Schnittflächen dargestellt sind.

Zum Erzeugen eines im Patientenaufnahmeraum des Magnetresonanzgeräts im Wesentlichen homogenen statischen Grundmagnetfelds umfasst das Magnetresonanzgerät einen Grundfeldmagneten 210 mit supraleitenden Primärspulen 214 und den Primärspulen 214 zugeordnete, ebenfalls supraleitende Schirmspulen 215.

Des Weiteren umfasst das Magnetresonanzgerät zum Erzeugen von schnell schaltbaren Gradientenfeldern ein im Wesentlichen hohlzyylinderförmiges Gradientenspulensystem 220 mit einer ersten transversalen Gradientenspule 221, einer zweiten transversalen Gradientenspule 222, einer longitudinalen Gradientenspule 223 und den Gradientenspulen 221, 222 und 223

zugeordnete Gradientenschirmspulen 225, 226 und 227. Dabei sind die Leiteranordnungen der Gradientenspulen 221, 222 und 223 derart ausgebildet, dass ein Mittenbereich des Gradientenspulensystems 220 frei von Leitern der Gradientenspulen 5 221, 222 und 223 entsteht, in welchem eine Hochfrequenzantennenelement 240 des Magnetresonanzgeräts angeordnet ist. Die zu beiden Seiten des Mittenbereichs angeordneten Leiter der Gradientenspulen 221, 222 und 223 sind auf jeder der beiden Seiten von jeweils einem dünnen metallischen Hochfrequenzschirm 231 und 232 eingehüllt. Das HF-Antennenelement 240 kann entweder alleine eine HF-Antenne bilden oder es kann zusammen mit den beiden HF-Schirmen 231 und 232 Teil einer 10 HF-Antenne sein. Dazu sind das HF-Antennenelement 240 und die HF-Schirme 231 und 232 hochfrequenzmäßig miteinander verbunden.

Die im Wesentlichen zwei solenoidartig ausgebildete Teilspulen umfassende longitudinale Gradientenprimärspule 223 weist von Hause aus ein Minimum in ihrer Stromdichte im besagten 20 Mittenbereich auf, so dass deren Ausbildung frei von Leitern in diesem Mittenbereich unproblematisch ist. Die im Wesentlichen vier sattelförmigen Teilspulen umfassenden transversalen Gradientenspulen 221 und 222 tragen im Allgemeinen im besagten Mittenbereich einen Strom in Umfangsrichtung. Da es aber insbesondere bei transversalen Gradientenspulen mit vergleichsweise geringer longitudinaler Ausdehnung zur Erzielung möglichst linearer Gradientenfelder notwendig ist, den Strom im besagten Mittenbereich derart auseinander zu ziehen, dass sich dort ein Minimum oder sogar eine schwach ausgeprägte, 25 umgekehrte Stromdichte ergibt, kann diese beim Design explizit zu Null gesetzt werden, so dass man den Mittenbereich frei von Leitern erhält. Bei einer longitudinalen Ausdehnung des Gradientenspulensystems 220 von in etwa kleiner dem Eineinhalbfaichen Durchmessers kann besagter Mittenbereich beispielsweise eine longitudinale Ausdehnung von 12 cm aufweisen.

Die zu beiden Seiten des Mittenbereichs angeordneten Leiter der Gradientenspulen 221, 222 und 223 sind wie gesagt auf jeder der beiden Seiten von einem der dünnen metallischen Hochfrequenzschirme 231 und 232 eingehüllt. Dabei vermögen  
5 die Hochfrequenzschirme 231 und 232 einen Hochfrequenzstrom zu tragen und sparen den leiterfreien Mittenbereich aus. Die beiden Hochfrequenzschirme 231 und 232 sind in bekannter Weise mit kapazitiv überbrückten Schlitzen versehen, um die durch die zeitveränderlichen Gradientenfelder induzierten  
10 Wirbelströme in dem Hochfrequenzschirm 231 und 232 klein zu halten.

Das im Mittenbereich angeordnete, kurze Hochfrequenzantennen-element 240 liegt auf einem Zylinderradius, der nicht kleiner  
15 als der Innenradius des Gradientenspulensystems 220 ist. Damit nimmt die das HF-Antennenelement 240 umfassende Hochfrequenzantenne gegenüber konventionellen Lösungen keinen Raum innerhalb des Patientenaufnahmeraums weg. Die Feldlinien 249 des mit der Hochfrequenzantenne erzeugbaren Hochfrequenz-  
20 felds schließen sich innerhalb des Gradientenspulensystems 220 in einem Feldrückflussraum 228 außerhalb der Gradientenspulen 221, 222 und 223. Im Feldrückflussraum 228 erfolgt auch ein Rückfluss der Gradientenfelder 229. Es werden also wenigstens Teile des Gradientenspulensystems 220 für den  
25 Rückfluss des Hochfrequenzfelds genutzt. Die Hochfrequenzschirme 231 und 232 können dabei einen Teil des Strompfads der Hochfrequenzantenne 240 bilden. Eine äußere Begrenzung des Rückflusses des Hochfrequenzfelds erfolgt erst auf dem den Gradientenschirmspulen 225, 226 und 227 zugeordneten  
30 Hochfrequenzschirm 233. Der HF-Schirm 233 erstreckt sich somit radial außerhalb des Antennenelements 240. In diesem Bereich ist das HF-Feld am stärksten. Um den Feldrückflussraum 233 klarer abzugrenzen, wird der HF-Schirm 233 vorzugsweise in axialer Richtung beidseitig verlängert, so dass er  
35 sich in radial außerhalb der Gradientenspulen 221, 222, 223 angeordnete Bereiche erstreckt. Die zur Darstellung der Feldlinien 249 verwendeten Symbole  $\odot$  und  $\otimes$  sind bei der

Figur 1 erläutert. Das zu den Feldlinien 119 und 129 bei der Figur 1 Beschriebene gilt für die Feldlinie 219 des Grundmagnetfelds und die Feldlinien 229 des zweiten transversalen Gradientenfelds der Figur 2 entsprechend.

5

Figur 3 zeigt ein Magnetresonanzgerät mit den Komponenten des MR-Geräts aus Figur 2, wobei zusätzlich ein Feldrückflussraum 228' auch in axialer Richtung hochfrequenzmäßig abgeschirmt ist. Dies erfolgt über HF-Schirmseitenwände 234, die die 10 beiden Enden des HF-Schirms 233 mit den HF-Schirmen 231,232 verbinden. Dadurch ist der Feldrückflussraum 228' bis auf den Mittenbereich hochfrequenzmäßig abgeschirmt, d.h. er ist bis 15 auf den Mittenbereich mit HF-Schirmen umschlossen. Dies hat z.B. den Vorteil, dass primäre Gradientenspulen 221,222,223 mit den entsprechenden Schirmspulen 225,226,227 in Reihe geschaltet werden können, ohne dass Wechselwirkungen des HF-Feldes mit den verbindenden elektrischen Leitern 224 entstehen. Die Ausdehnung des Feldrückflussraums 228' in axialer 20 Richtung kann in Abhängigkeit der Effizienz der HF-Antenne optimiert werden, wobei zu berücksichtigen ist, dass eine zu hohe magnetische Feldenergie im Feldrückflussraum 228' sich nachteilig auf die Effizienz auswirken kann.

Die Figur 4 zeigt als ein weiteres Ausführungsbeispiel der 25 Erfindung einen prinzipiellen Längsschnitt durch eine obere Hälfte eines Magnetresonanzgeräts mit einem im Wesentlichen tunnelartigen Patientenaufnahmeraum, wobei aus Gründen der Übersichtlichkeit wiederum nur die Schnittflächen dargestellt sind. Das Magnetresonanzgerät umfasst dabei einen im Wesentlichen 30 hohlzylinderförmigen Grundfeldmagneten 310 mit supraleitenden Primär- und Schirmspulen 314 und 315, wobei ein elektrisch leitender Vakuumbehälter 312 des Grundfeldmagneten 310 zum Umsetzen des Konzeptes der eingangs erwähnten DE 101 56 770 A1 im Bereich der Höhlung fassmantelartig ausgebaucht 35 ist.

In der Höhlung ist ein zwei von einander getrennte hohlzylin-  
derförmige Hälften umfassendes Gradientenspulensystem 320  
angeordnet. Dabei umfasst das Gradientenspulensystem 320 von  
innen nach außen eine longitudinale Gradientenspule 323, eine  
5 erste transversale Gradientenspule 321 und eine zweite trans-  
versale Gradientenspule 322. Dabei sind die Teilspulen der  
Gradientenspulen 321, 322 und 323 je Hälfte vollständig von  
den Hochfrequenzschirmen 331 und 332 umschlossen. Zwischen  
den Hälften des Gradientenspulensystems 320 ist analog zur  
10 Figur 2 oder 3 eine Hochfrequenzantennenelement 340 befe-  
tigt. Dabei steht den Feldlinien 349 des mit der das Hochfre-  
quenzantennenelement 340 umfassenden Hochfrequenzantenne  
erzeugbaren Hochfrequenzfelds zum Schließen ein ausreichend  
großer Feldrückflussraum 328 zwischen dem Gradientenspulen-  
15 system 320 und dem Vakuumbehälter 312 zur Verfügung. Der  
Vakuumbehälter 312 ist auf der dem Feldrückflussraum 328  
zugeordneten Seite entweder als HF-Schirm 333 ausgebildet  
oder ein derartiger HF-Schirm 333 ist an ihm angebracht.  
Vorzugsweise erstreckt sich der HF-Schirm 333 über die fass-  
20 mantelförmige Ausbuchtung, um den Grundfeldmagneten möglichst  
umfassend abzuschirmen. Die zur Darstellung der Feldlinien  
349 verwendeten Symbole  $\odot$  und  $\otimes$  sind bei der Figur 1 erläu-  
tert. Das zu den Feldlinien 119 und 129 bei der Figur 1  
Beschriebene gilt für die Feldlinie 319 des Grundmagnetfelds  
25 und die Feldlinien 329 des zweiten transversalen Gradienten-  
felds der Figur 4 entsprechend.

Figur 5 zeigt ein Magnetresonanzgerät mit den Komponenten des  
MR-Geräts aus Figur 4, wobei das Gradientensystem 320 und der  
30 fassmantelförmig Grundfeldmagnetsystem 310 so nahe beieinan-  
der liegen, dass der Hochfrequenzschirm 333 und der erste  
sowie der zweite Hochfrequenzschirm 331 und 332 hochfrequenz-  
mäßig miteinander verbunden sind. Dadurch ergibt sich ein bis  
auf den Mittenbereich hochfrequenzmäßig abgeschirmter Feld-  
35 rückflussraum 328'.

Die Figur 6 zeigt als ein weiteres Ausführungsbeispiel der Erfindung in einer perspektivischen Ansicht eine zwischen den Hochfrequenzschirmen 231 und 232 oder 331 und 332 angeordnete Hochfrequenzantenne 240 oder 340 in der Ausbildung als Birdcageantenne und die Figur 7 als ein weiteres Ausführungsbeispiel der Erfindung ebenfalls in perspektivischer Ansicht eine zwischen den Hochfrequenzschirmen 231 und 232 oder 331 und 332 angeordnete Hochfrequenzantenne 240 oder 340 in der Ausbildung als Arrayantenne.

## Patentansprüche

1. Erzeuger (220,320) zeitvariabler Magnetfelder (219,249,319,349) eines Magnetresonanzgeräts mit wenigstens einer Gradientenspule (221,...,321,...), wobei Leiter der Gradientenspule (221,...,321,...) sich im Wesentlichen im Bereich eines Hohlzylinders erstrecken und wobei die Gradientenspule (221,...,321,...) hinsichtlich einer axialen Ausdehnung des Hohlzylinders in einem Mittenbereich frei von Leitern ausgebildet ist,  
dadurch gekennzeichnet, dass ein Hochfrequenzantennenelement (240,340), im Mittenbereich angeordnet ist, dass ein erster Hochfrequenzschirm (231,331) die auf der einen Seite bezüglich des Mittenbereichs angeordneten Leiter und ein zweiter Hochfrequenzschirm (232,332) die auf der anderen Seite bezüglich des Mittenbereichs angeordneten Leiter umschließt und dass ein dritter Hochfrequenzschirm (233,333) radial außerhalb um das Hochfrequenzantennenelement (240,340) verlaufend derart angeordnet ist, so dass die Hochfrequenzschirme (231,...,331,...) einen Feldrückflussraum (228,328) begrenzen, der innerhalb des Erzeugers (220,320) angeordnet ist und der für einen Rückfluss eines mit dem Hochfrequenzantennenelement (240,340) erzeugbaren Hochfrequenzfeldes (249,349) ausgebildet ist.
2. Erzeuger (220,320) nach Anspruch 1,  
dadurch gekennzeichnet, dass der Mittenbereich einen im Wesentlichen hohlzylinderförmigen Bereich umfasst.
3. Erzeuger (220,320) nach einem der Ansprüche 1 oder 2,  
dadurch gekennzeichnet, dass sich das Hochfrequenzantennenelement (240,340) innerhalb des Hohlzylinders erstreckt.
4. Erzeuger (220,320) nach einem der Ansprüche 1 bis 3,  
dadurch gekennzeichnet, dass das Hochfrequenzantennenelement (240,340) den ersten und den zweiten Hochfrequenzschirm (231,232,331,332) hochfrequenzmäßig derart verbündet, dass

der erste und der zweite Hochfrequenzschirm (231,232,331,332) zusammen mit dem Hochfrequenzantennenelement (240,340) eine Hochfrequenzantenne bilden.

- 5    5. Erzeuger (220,320) nach einem der Ansprüche 1 bis 4, dadurch gekennzeichnet, dass das Hochfrequenzantennenelement (240,340) oder die Hochfrequenzantenne als eine Birdcageantenne ausgebildet ist.
- 10    6. Erzeuger (220,320) nach einem der Ansprüche 1 bis 5, dadurch gekennzeichnet, dass das Hochfrequenzantennenelement (240,340) oder die Hochfrequenzantenne als eine Arrayantenne ausgebildet ist.
- 15    7. Erzeuger (220,320) nach einem der Ansprüche 1 bis 6, dadurch gekennzeichnet, dass der erste und der zweite Hochfrequenzschirm (231,232,331,332) jeweils über eine ebenfalls als Hochfrequenzschirm wirkende Verbindung mit dem dritten Hochfrequenzschirm (233,333) derart verbunden sind, dass der Feldrückflussraum (228,328) bis auf den Mittenbereich hochfrequenzmäßig abgeschirmt ist.
- 20    8. Erzeuger (220,320) nach einem der Ansprüche 1 bis 7, dadurch gekennzeichnet, dass die den Feldrückflussraum (228,328) umgebenden Hochfrequenzschirme (231,...,331,...) und das Hochfrequenzantennenelement (240,340) einen Hochfrequenzresonator bilden, in dem der dritte Hochfrequenzschirm (233,333) als Rückstromleiter wirkt.
- 25    9. Erzeuger (220,320) nach einem der Ansprüche 1 bis 8, dadurch gekennzeichnet, dass wenigstens einer der Hochfrequenzschirme (231,...,331,...) derart gestaltet ist, dass er für ein mit der Gradientenspule (221,...,321,...) erzeugbares Gradientenfeld (219,319) im Wesentlichen durchlässig und für ein mit der Hochfrequenzantenne erzeugbares Hochfrequenzfeld (249,349) im Wesentlichen undurchlässig ist.

10. Erzeuger (220,320) nach einem der Ansprüche 1 bis 9, dadurch gekennzeichnet, dass der Gradientenspule (221,...,321,...) eine Gradientenschirmspule (225,226,227) zugeordnet ist.

5

11. Erzeuger (220,320) nach Anspruch 10, dadurch gekennzeichnet, dass die Gradientenschirmspule (225,...) nach außen hin zur Gradientenspule (221,...) radial beabstandet ist und dass der dritte Hochfrequenzschirm (233) zwischen der Gradientenschirmspule (225,...) und der Gradientenspule (221,...) angeordnet ist.

12. Erzeuger (220,320) nach einem der Ansprüche 1 bis 11, dadurch gekennzeichnet, dass wenigstens die Gradientenspule (221,...,321,...), der erste und zweite Hochfrequenzschirm (231,...,321,...) und die Hochfrequenzantennenelement (240,340) eine bauliche Einheit bildend gestaltet sind.

13. Erzeuger (220,320) nach einem der Ansprüche 1 bis 12, dadurch gekennzeichnet, dass ein wenigstens die Gradientenspule (221,...,321,...) beinhaltendes Gradientenspulensystem (220,320) wenigstens zwei Hälften aufweist, zwischen denen das Hochfrequenzantennenelement (240,340) angeordnet ist.

14. Magnetresonanzgerät mit einem Erzeuger (220,320) nach einem der Ansprüche 1 bis 13.

15. Magnetresonanzgerät nach Anspruch 14, wobei das Magnetresonanzgerät eine elektrisch leitfähige Struktur umfasst,  
30 - die die Gradientenspule (321,...) wenigstens teilweise umgibt und  
- die ausgelöst durch eine Stromänderung in der Gradientenspule (321,...) ein Wirbelstromfeld erzeugt, wobei wenigstens ein Anteil des Wirbelstromfelds hinsichtlich wenigstens einem nichtlinearen Anteil eines mit der Gradientenspule (321,...) erzeugbaren Gradientenfelds innerhalb eines Abbildungsvolumens des Magnetresonanzgeräts kompensierend wirkt.

16. Magnetresonanzgerät nach Anspruch 15, wobei die Gradien-  
tenspule (321,...) und die Struktur derart aufeinander abge-  
stimmt gestaltet sind, dass das Wirbelstromfeld innerhalb des  
5 Abbildungsvolumens dem Gradientenfeld ähnlich ist.
17. Magnetresonanzgerät nach einem der Ansprüche 15 oder 16,  
wobei das Magnetresonanzgerät einen Grundfeldmagneten umfasst  
und wenigstens ein Teil des Grundfeldmagneten als wenigstens  
10 ein Teil der Struktur ausgebildet ist.
18. Magnetresonanzgerät nach Anspruch 17, wobei der Grund-  
feldmagnet ein supraleitender Grundfeldmagnet ist, dessen  
Vakuumbehälter als die Struktur ausgebildet ist.  
15
19. Magnetresonanzgerät nach einem der Ansprüche 15 bis 18,  
wobei die Struktur in etwa fassmantelförmig ausgebildet ist.

## Zusammenfassung

Erzeuger zeitvariabler Magnetfelder eines Magnetresonanzgeräts und Magnetresonanzgerät mit dem Erzeuger

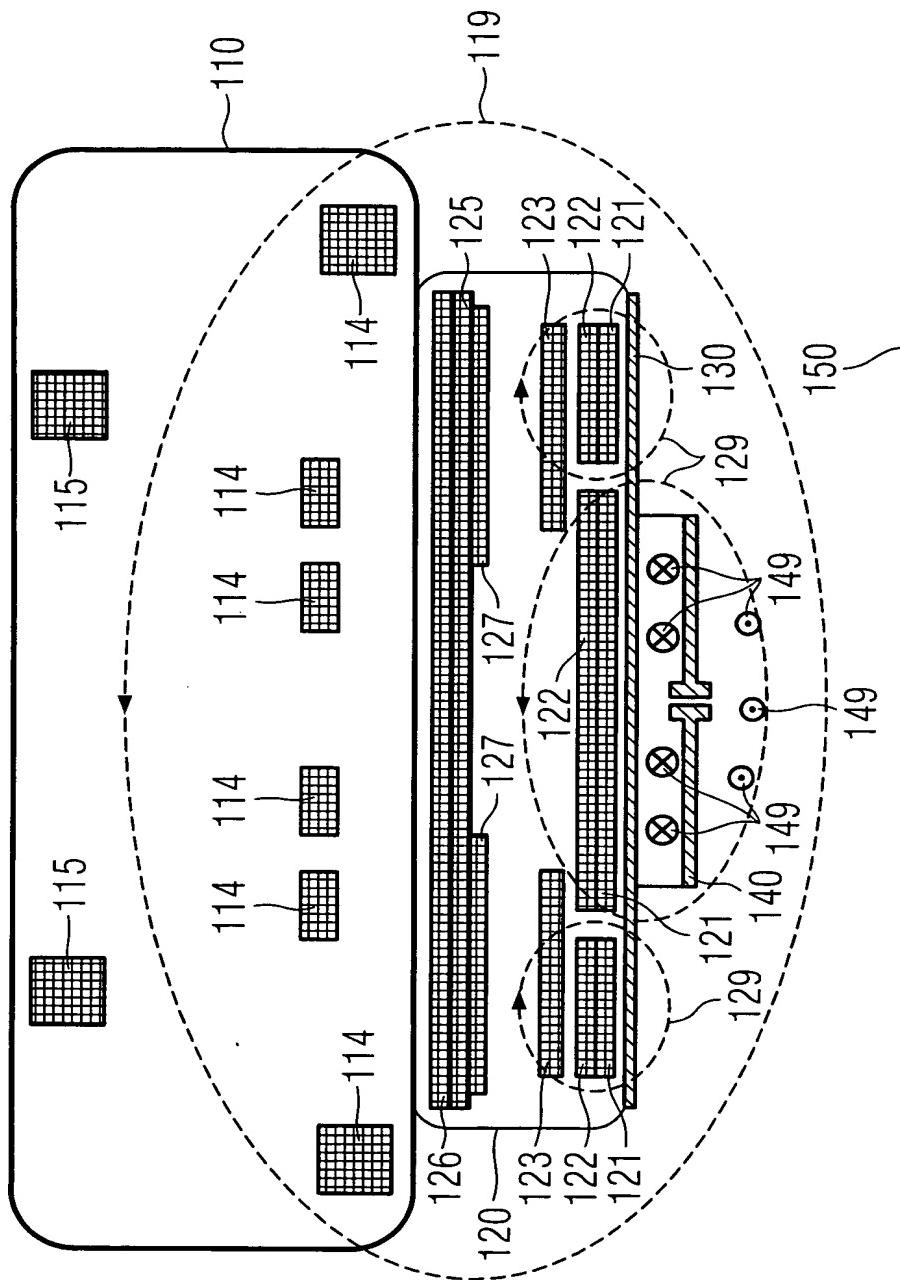
5

Ein Erzeuger (220, 320) zeitvariabler Magnetfelder (219, 349, 319, 349) eines Magnetresonanzgeräts beinhaltet folgende Merkmale:

- wenigstens eine Gradientenspule (221,...,321,...),
    - deren Leiter sich im Wesentlichen im Bereich eines Hohlzylinders erstrecken und
    - die hinsichtlich einer axialen Ausdehnung des Hohlzylin-  
ders in einem Mittenbereich frei von Leitern ausgebildet  
ist,
  - ein erster Hochfrequenzschirm (231,331), der die auf der einen Seite bezüglich des Mittenbereichs angeordneten Leiter umschließt,
  - ein zweiter Hochfrequenzschirm (232,332), der die auf der anderen Seite bezüglich des Mittenbereichs angeordneten Leiter umschließt,
  - ein Hochfrequenzantennenelement (240,340), das zwischen dem ersten und zweiten Hochfrequenzschirm (231,...,331,...) in dem Mittenbereich angeordnet ist,
  - ein dritter Hochfrequenzschirm (233,333), der radial außerhalb um das Antennenelement (240,340) verlaufend derart angeordnet ist, so dass die Hochfrequenzschirme (231,...,331,...) einen Feldrückflussraum (228,328) begrenzen, der innerhalb des Erzeugers (220,320) angeordnet ist und der für einen Rückfluss eines mit dem Hochfrequenzantennenelement (240,340) erzeugbaren Hochfrequenzfeldes (249,349) ausgebildet ist;
- und ein Magnetresonanzgerät mit einem derartigen Erzeuger (220,320).

35 FIG 3

FIG 1



( Stand der Technik )

FIG 2

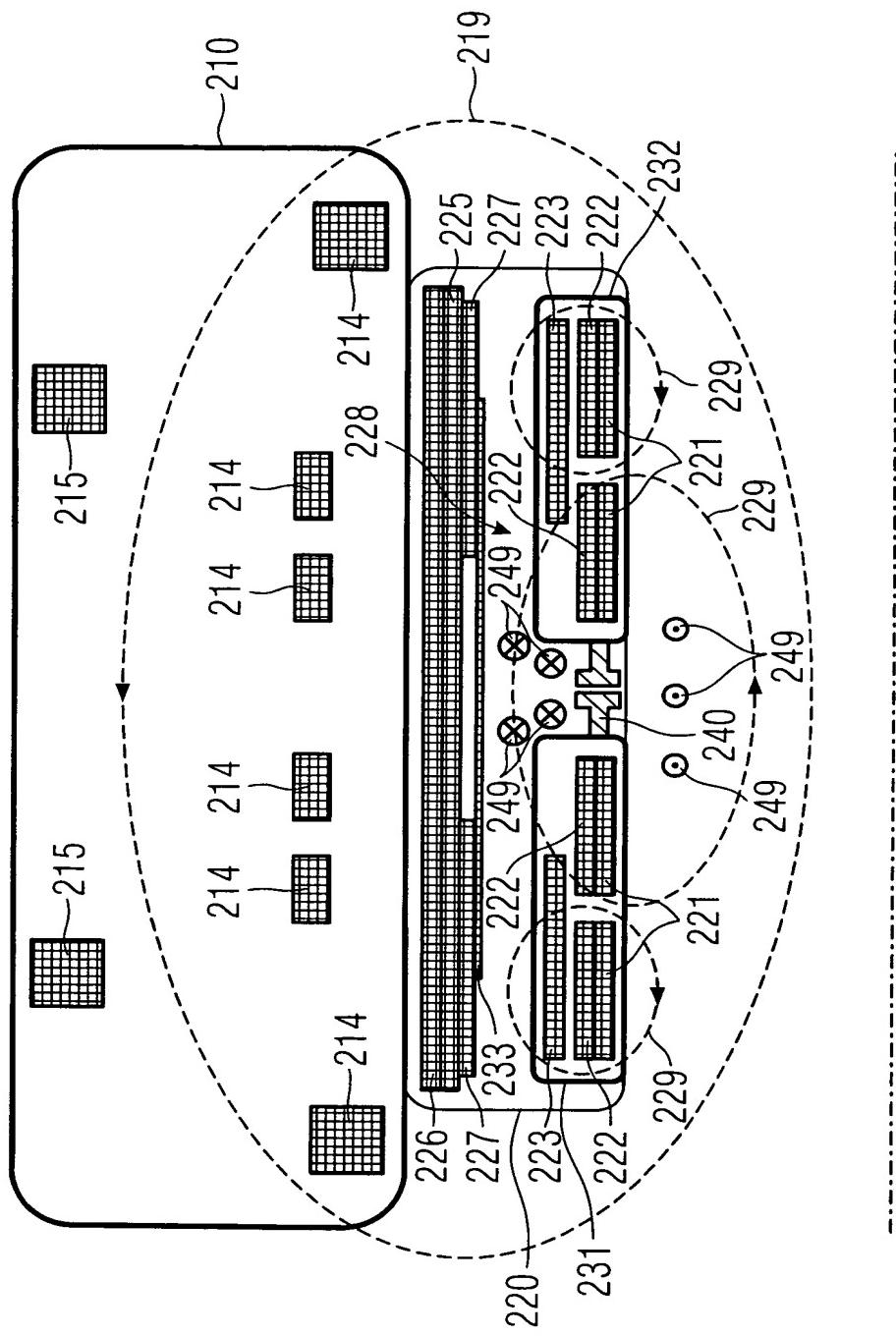


FIG 3

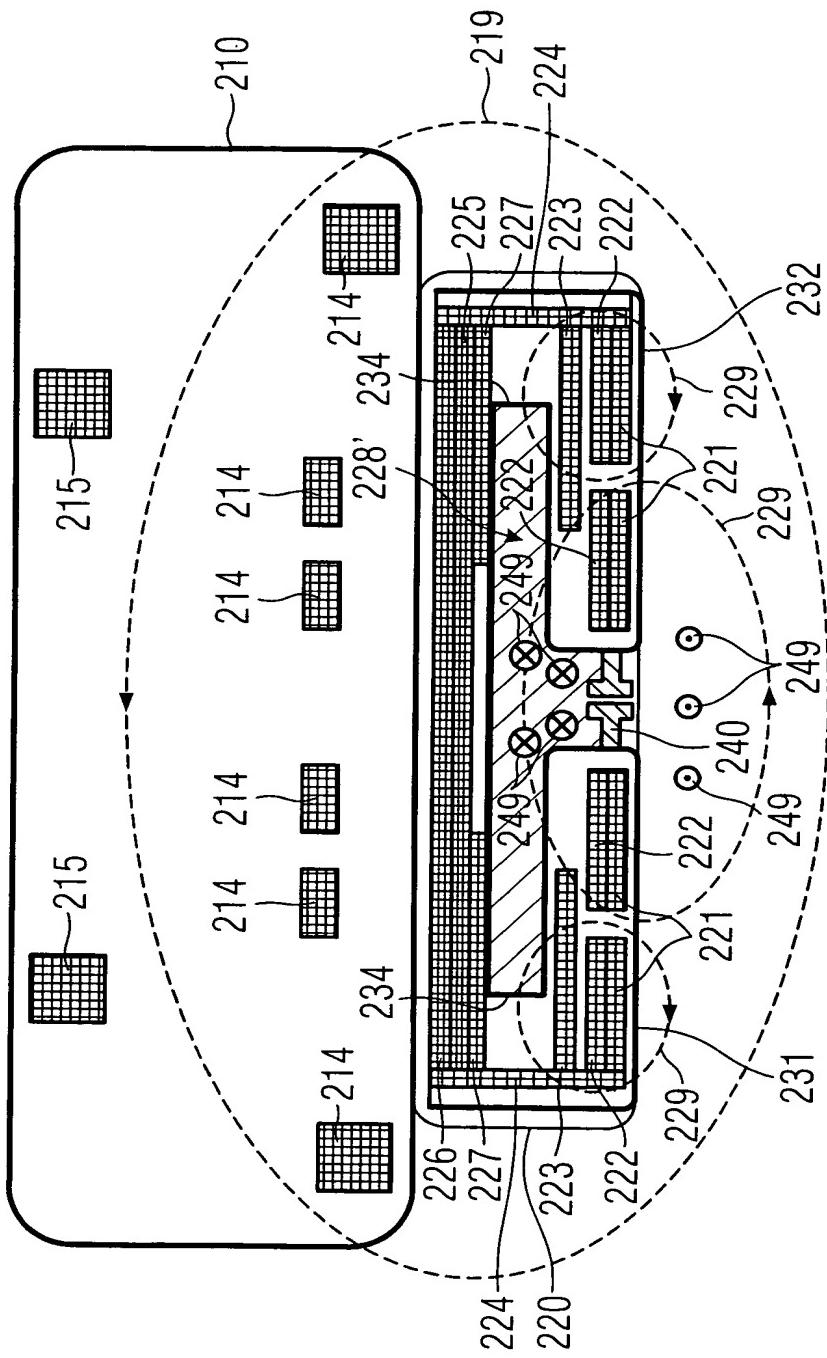


FIG 4

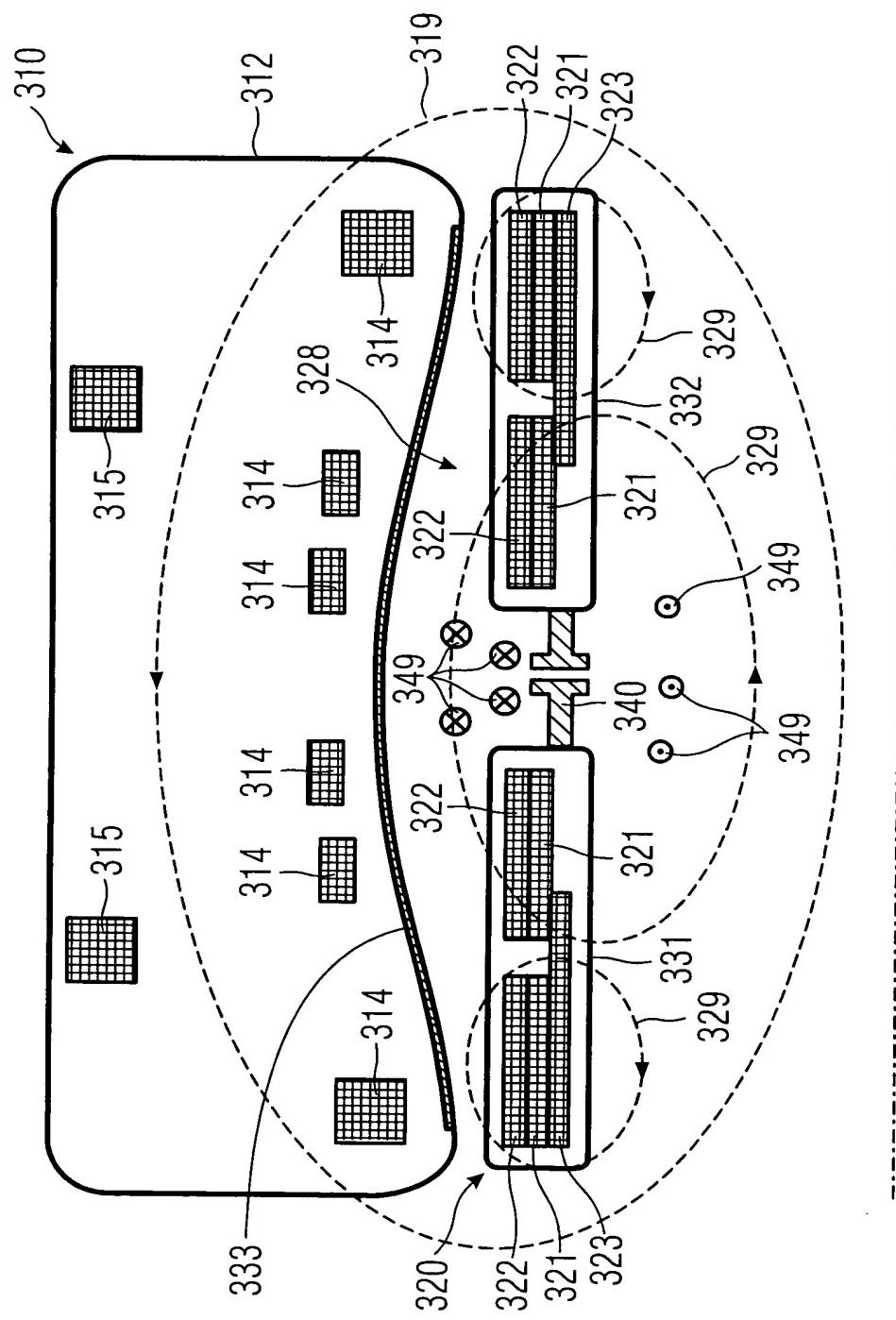


FIG 5

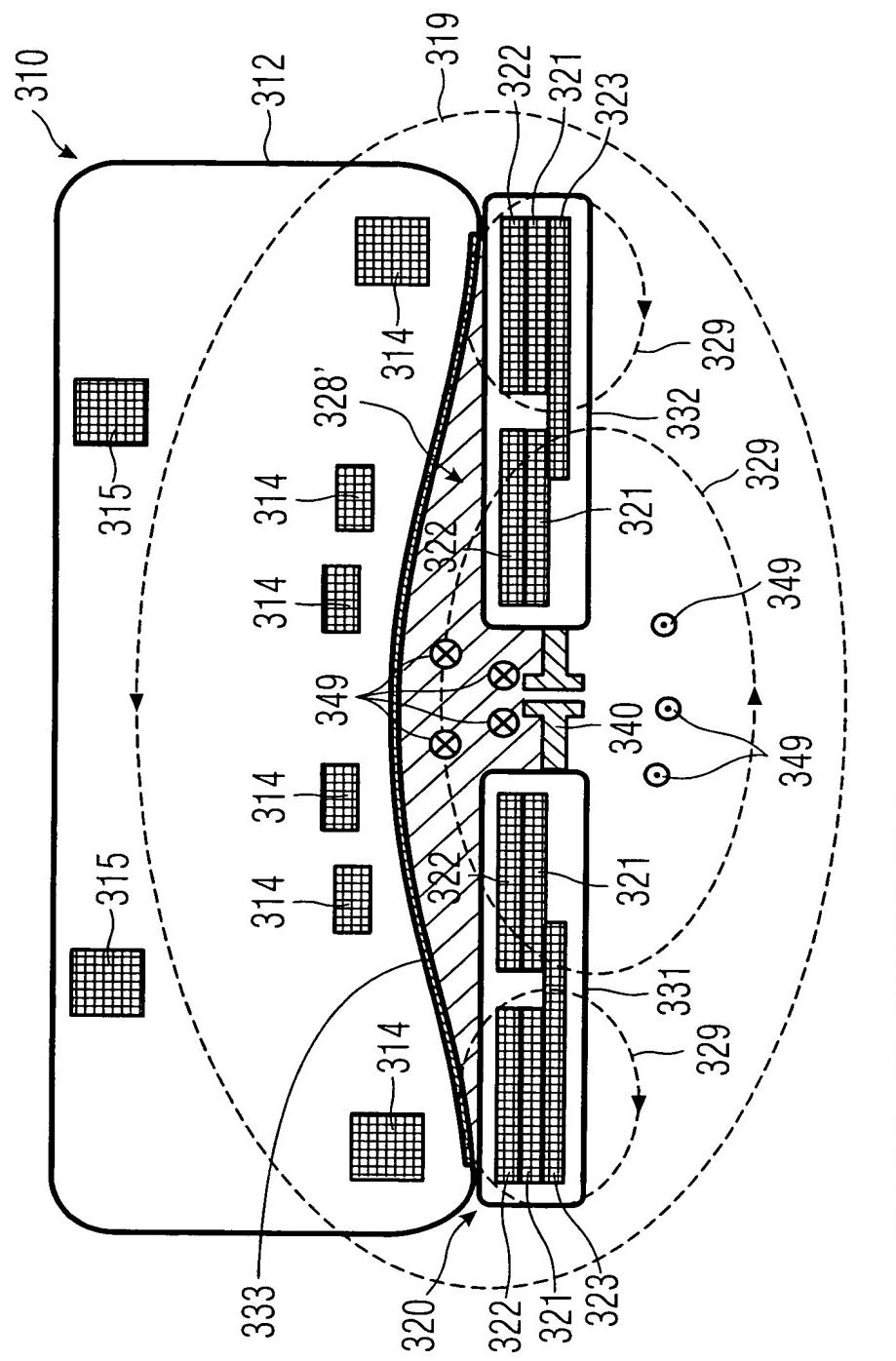


FIG 6

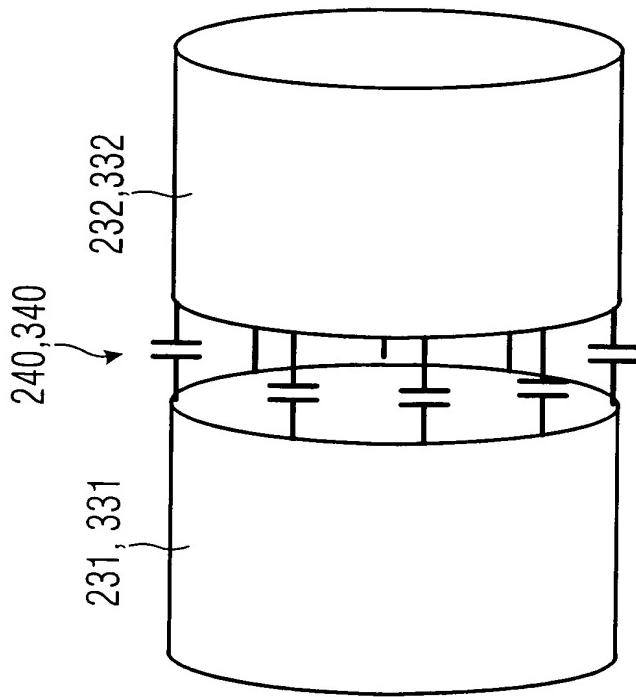


FIG 7

